

DOI:10.12403/j.1001-1498.20220563

## 3年生赤皮青冈家系生长和形质性状变异与选择

杨孟晴<sup>1</sup>, 邵慰忠<sup>2</sup>, 徐永宏<sup>2</sup>, 姚甲宝<sup>3</sup>, 欧阳天林<sup>4</sup>,  
代丽华<sup>4</sup>, 周志春<sup>1</sup>, 王斌<sup>1\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江省林木育种技术重点实验室, 浙江 杭州 311400; 2. 浙江省建德市林业总场, 浙江 建德 311600; 3. 中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600; 4. 江西省林业科技实验中心, 江西 信丰 341600)

**摘要:** [目的] 研究3年生赤皮青冈不同家系幼林生长和形质性状遗传变异规律, 初选适宜不同区域和立地条件的速生优质和遗传稳定的家系。[方法] 对2019年在浙江建德、江西分宜和安远采用42个赤皮青冈优树家系营建的遗传测定林进行全林调查, 采用SAS软件分析家系性状、遗传力和遗传相关差异及家系与地点的交互, 利用主成分分析方法和BLUP方法开展优良家系初选。[结果] 3年生赤皮青冈平均树高和地径分别为2.04 m和3.15 cm, 不同家系间生长和形质性状差异均达到极显著水平, 树高、地径、冠幅和最长侧枝长度等性状家系遗传力较高(0.393~0.753), 单株遗传力相对较低。不同家系各性状间相关性较高, 树高和地径表现优异的家系, 林木较通直, 分叉干少但分枝多、枝长且粗。赤皮青冈家系×地点互作效应明显, 立地对其生长影响较大。3个试验点以建德点生长表现最好, 其次为安远和分宜, 以生长和形质性状进行综合排序, HNCB8和HNHT5在3个试验点排序均靠前, 整体表现较好。以树高和地径BLUP值排名前20%进行选择, 3个试验点共初选出10个优良家系, HNCB8为3个试验点均入选家系。[结论] 3年生赤皮青冈家系生长与形质性状遗传差异丰富, 家系遗传力普遍较高, 受较强遗传控制。种植生境的改变对赤皮青冈家系影响较大, 以HNCB8和HNHT5在3个试验点的综合表现较好, 具有推广潜力。

**关键词:** 赤皮青冈; 家系; 生长性状; 形质性状; 遗传变异; 选择

**中图分类号:** S718.46

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2023)04-0031-10

生长和形质性状是植物最直观的表型性状, 受基因与环境共同作用而存在较为丰富的遗传变异<sup>[1]</sup>。揭示植物生长和形质性状家系遗传变异规律是科学制定育种策略的基础, 可为选育优良育种材料提供理论依据<sup>[2]</sup>。针对木荷(*Schima superba* Gardn et Champ.)、大叶栎(*Quercus griffithii* Hook. f. et Thoms ex Miq.)和樟树(*Cinnamomum bodinieri* Levl.)等的研究表明<sup>[3-5]</sup>, 各树种优树家系生长和形质性状均存在丰富的遗传变异, 具有较好的选择

潜力。通常植物的遗传变异越丰富, 对环境变化的适应能力越强, 优良家系选择的范围越大。为了获得优良的林木种质资源, 开展优树子代测定和优良家系选择研究, 已成为林木遗传育种工作的一项重要内容<sup>[6]</sup>。同时, 基于林木不同家系不同生长阶段表型性状的差异性, 开展优良家系早期筛选, 有助于缩短育种周期, 加速育种选择进程和选育成果推广<sup>[2]</sup>。

赤皮青冈(*Cyclobalanopsis gilva* Oerst.)是

收稿日期: 2022-11-22 修回日期: 2023-03-23

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2020SY015); 浙江省省院合作林业科技项目(2021SY04); 江西省林业科技创新项目(201803)

\* 通讯作者: 王斌, 博士, 副研究员, 主要研究方向: 森林培育。Email: ylwangbin@sina.com

壳斗科 (Fagaceae) 青冈属 (*Cyclobalanopsis*) 常绿大乔木, 生长快、适应性强, 是优良的珍贵用材和生态修复树种<sup>[7]</sup>。因其树体通直高大, 材质优异, 曾被过渡砍伐利用, 现有天然资源稀少, 长期的地理隔离也导致严重的遗传分化<sup>[8]</sup>。目前对赤皮青冈的研究以种群和群落特征<sup>[9-10]</sup>、种群遗传多样性<sup>[11]</sup>、生长与生理特性<sup>[12]</sup>、种苗繁育技术<sup>[13]</sup>为主。赤皮青冈因种群小, 林分更新困难, 加上良种选育进程缓慢, 限制了其在林业生产上的应用。赤皮青冈不同家系苗期生长和叶片性状遗传变异以及不同种源幼林生长性状变异及种源选择研究表明<sup>[14-15]</sup>, 不同家系和种源间存在显著差异, 遗传变异丰富, 遗传改良潜力较大。不足之处是, 关于苗期遗传变异的研究仅适于淘汰生长特别不良的苗木; 关于种源变异的研究缺少对优良家系的选择。因此, 加强赤皮青冈不同家系间变异分析以及优良家系选择, 不仅可以利用种源效应, 同时还能选择出生长表现突出的优良家系和个体, 进一步促进赤皮青冈的遗传改良, 推动其人工林资源培育及产业发展。本文利用设置在浙江建德、江西安远和江西分宜 3 个试验点的 3 年生赤皮青冈优树家系测定林, 通过全林调查, 研究家系生长和形质性状的遗传变异规律, 分析家系与环境的互作效益, 初选适宜不同区域和立地条件的速生优质和遗传稳定家系, 为提高赤皮青冈的育种效率提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

赤皮青冈参试家系共 42 个, 分别来自福建建瓯 (20 个, FJJO1~FJJO20)、贵州天柱 (1 个, GZTZ1)、湖南城步 (8 个, HNCB1~HNCB8)、湖南会同 (6 个, HNHT2~HNHT7)、湖南桑植 (1 个, HNSZ1)、湖南永顺 (3 个, HNYS1~HNYS3)、江西上饶 (2 个, JXSR3 和 JXSR5) 和浙江庆元 (1 个, AN1)。在选优的林分, 按拟定的调查方法、标准, 沿一定的线路调查, 将符合植株高大胸径粗、树冠匀称冠幅窄、干型通直分枝细等要求的单株作为候选树, 采用优势木对比法对候选优树进行选择。

2017 年 11 月采集上述优树种子, 2018 年 3 月在庆元县实验林场培育轻基质容器苗, 2019 年 3 月采用培育的 1 年生容器苗 (平均株高

和地径分别为 30 cm 和 0.35 cm) 在浙江建德 (29°37' N, 119°01' E)、江西分宜 (27°49' N, 114°41' E) 和安远 (25°19' N, 115°11' E) 营建优树家系测定林, 3 个试验点均为赤皮青冈在该地区造林的代表性立地。浙江建德属亚热带北缘季风气候, 年均气温 16.7 °C, 年均降水量 1 600 mm, 无霜期 261 d。江西分宜属亚热带湿润性气候, 年均气温 17.2 °C, 年均降水量 1 600 mm, 无霜期 270 d。江西安远属亚热带季风性湿润气候, 年均气温 18.7 °C, 年降水量 1 600~1 800 mm, 无霜期 282 d。

### 1.2 试验设计与调查

3 个试验点的优树家系测定林均采用完全随机区组设计, 5 次重复, 建德和安远 10 株单列小区, 分宜 8 株单列小区, 株行距 2.5 m × 2.5 m。2021 年 11 月底开展赤皮青冈优树家系测定林生长和形质性状调查, 测定指标包括树高、地径、冠幅、树干通直度 (分为通直-5 分、较通直-4 分、一般-3 分、弯曲-2 分和严重弯曲-1 分 5 个级别)、分叉干数、一级侧枝数量、最长侧枝长度和最粗侧枝基径。对 3 个试验点每株调查, 去除死亡、补植的赤皮青冈幼树外, 建德点共调查 2 050 株, 分宜点共调查 1 670 株, 安远点共调查 2 040 株。根据调查结果, 每个试验点单个家系每个区组 (即重复) 死亡后补植均不超过 2 株。

### 1.3 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 进行数据统计, 依据拉依达准则去除异常数据。分叉干数和一级侧枝数量经  $(X + 0.5)^{1/2}$  转换, 树干通直度经  $X^{1/2}$  转换后, 采用 SAS8.0 软件的 GLM、VARCOMP 过程进行不同地点不同家系生长和形质性状方差分析, 家系和单株遗传力、表型和遗传相关系数估算<sup>[16]</sup>, 以及家系同一性状不同试验点间 B 型相关系数计算<sup>[17]</sup>。死亡后补植家系调查数据和异常数据不纳入统计分析。

3 个试验点生长和形质性状单点方差分析的统计模型为:

$$Y_{ijk} = u + B_i + F_j + BF_{ij} + e_{ijk}$$

式中:  $Y_{ijk}$  为单点试验第  $i$  区组第  $j$  家系第  $k$  单株的观测值,  $u$  为群体平均效应,  $B_i$  为第  $i$  区组效应,  $F_j$  为第  $j$  家系效应,  $BF_{ij}$  为第  $j$  家系和第  $i$  区组的互作效应,  $e_{ijk}$  为机误。

3个试验点家系遗传力计算公式为:

$$h_f^2 = \sigma_F^2 / \left[ (\sigma_E^2 / n_h b) + (\sigma_{FB}^2 / b) + \sigma_F^2 \right] \quad (1)$$

3个试验点单株遗传力计算公式为:

$$h_s^2 = 4\sigma_F^2 / (\sigma_E^2 + \sigma_{FB}^2 + \sigma_F^2) \quad (2)$$

家系同一性状在不同试验点间的B型相关计算公式为<sup>[17]</sup>:

$$r_{BF} = \sigma_F^2 / (\sigma_F^2 + \sigma_{FS}^2) \quad (3)$$

式中:  $n_h$ 为每小区调和平均株数,  $b$ 为区组或重复数,  $\sigma_F^2$ 为家系方差分量,  $\sigma_E^2$ 为机误,  $\sigma_{FB}^2$ 为家系与区组互作方差分量,  $\sigma_{FS}^2$ 为家系与地点互作方差分量。

采用主成分分析方法, 利用SPSS22软件对3个试验点赤皮青冈家系的生长和形质性状进行综合得分排序。根据赤皮青冈优良家系要求速生、通直、节少、分枝细和分枝平展等特点, 先对树高、地径、冠幅和通直度等正向指标(值越大越好)和分叉干数、一级侧枝数量、最长侧枝长度和最粗侧枝基径等负向指标(值越小越好)采用公式(4、5)进行标准化处理, 再计算不同主成分得分, 根据各主成分方差贡献率计算综合得分并进行排序。

$$\text{正向指标标准化: } (x_i - \min) / (\max - \min) \quad (4)$$

$$\text{负向指标标准化: } (\max - x_i) / (\max - \min) \quad (5)$$

式中:  $x_i$ 为各指标测量值,  $\max$ 和 $\min$ 分别为该指标不同家系最大值和最小值。

利用R统计软件的lme4包对测量数据进行一般线性模型拟合, 估算家系BLUP值。采用的模型为:

$$y_{ij} = u + S_i + SG_{ij} + e_{ij}$$

式中:  $y_{ij}$ 为区组*i*中家系*j*的个体观察值,  $u$ 为整体均值,  $S_i$ 为区组*i*的固定效应,  $SG_{ij}$ 为第*j*个家系与第*i*个区组的随机相互作用,  $e_{ij}$ 为残差。

## 2 结果与分析

### 2.1 赤皮青冈家系生长和形质性状差异分析

3年生赤皮青冈不同家系生长和形质性状以建德点变异最丰富, 其次为安远点和分宜点, 建德点区组间的差异相对较小, 安远点和分宜点相对较大, 3个试验点均存在极显著的家系×区组效应(表1)。总体而言, 赤皮青冈家系遗传变异丰富, 并且受栽植立地影响显著。变异系数分析表

明: 不同家系生长指标变异相对较小, 形质指标变异相对较大。

从生长指标看, 3年生赤皮青冈平均树高、地径和冠幅分别为2.04 m、3.15 cm和1.01 m, 排序均为建德>安远>分宜; 树干通直度平均为4.35, 排序为安远>建德>分宜。从形质指标看, 不同试验点赤皮青冈分叉干数差异较大, 建德点不同家系分叉总体较少(0.16), 但也存在分叉较多的家系(CV=59.78%); 分宜点不同家系分叉均较多(1.83, CV=12.70%)。建德点一级侧枝数量、最长侧枝长度和最粗侧枝基径最高, 分别为26.22、0.96 m和1.21 cm, 安远点一级侧枝数量(17.45)、分宜点最长侧枝长度(0.59 m)和最粗侧枝基径(0.73 cm)相对较低。总的来看, 偏北的浙江建德点水热资源虽然不如江西分宜和安远, 但因立地条件较好, 采用全垦整地和施用有机肥为基肥, 不同家系生长状况总体较好。江西安远点水热资源最丰富, 其平均树高和地径介于浙江建德点和江西分宜点之间。此外, 树高和地径等生长性状较好的试验点, 通常林木较通直, 分叉干少但分枝多、枝长且粗。

### 2.2 赤皮青冈生长和形质性状遗传力估算

不同试验点赤皮青冈家系遗传力和单株遗传力存在一定差异(表2)。3年生赤皮青冈树高、地径和冠幅等生长性状以及侧枝数量和基径等形质性状家系遗传力以安远点最高( $\geq 0.579$ ), 通直度和分叉干数等性状家系遗传力以建德点较高( $\geq 0.429$ ), 均受较强的家系遗传控制。分宜点不同生长和形质性状家系遗传力最低, 可能是该试验点的环境异质性较大。从3个试验点联合分析看, 树高、地径、冠幅、最长侧枝长度和最粗侧枝基径等性状家系遗传力较高( $\geq 0.423$ ), 受较强的家系遗传控制, 意味着当其他条件相同时, 应优先考虑上述遗传力较高的性状, 以取得较好的家系选择效果。与家系遗传力比较, 除安远点树高和地径单株遗传力分别为0.479和0.519, 受较强遗传控制外, 3个试验点生长和形质性状的单株遗传力总体较低。从3个试验点联合分析看, 树高单株遗传力较高(0.224), 受中等遗传控制, 其它指标单株遗传力均较低, 意味着其表型度量值不能有效预测其内在的基因型值, 应加强家系和家系内个体的联合选择。



表1 赤皮青冈不同家系生长和形质性状的方差分析

Table 1 Variance analysis of growth and form-quality traits of different *C. gilva* families

试验点 Test site	性状 Traits	均值 Mean	变幅 Range	变异系数 CV/%	F值 F Value			机误 Error
					家系 Family	区组 Block	家系 × 区组 Family × Block	
浙江建德 Jiande of Zhejiang	树高 Tree height/m	2.38	1.78~2.79	8.61	2.34**	2.86*	2.14**	0.311
	地径 Ground diameter/cm	3.81	3.02~4.46	7.53	1.57*	2.37	2.06**	0.926
	冠幅 Crown width/m	1.31	0.98~1.59	10.28	2.20**	3.16*	2.27**	0.132
	树干通直度 Trunk straightness	4.49	4.00~4.89	4.22	1.60*	4.35**	1.66**	0.495
	分叉干数 Branch trunk number	0.16	0.02~0.39	59.78	1.77**	0.14	1.32**	0.164
	一级侧枝数 Branch number	26.22	16.15~32.15	13.57	2.05**	8.92**	2.79**	80.574
	最长侧枝长度 Longest branch length/m	0.96	0.65~1.20	12.18	2.42**	0.80	2.11**	0.099
最粗侧枝基径 Widest branch diameter/cm	1.21	0.97~1.46	8.01	1.70*	3.09*	1.65**	0.123	
江西分宜 Fenyi of Jiangxi	树高 Tree height/m	1.61	1.22~1.88	9.36	1.91**	9.72**	1.81**	0.214
	地径 Ground diameter/cm	2.44	2.09~3.10	9.25	1.96**	15.40**	1.58**	0.519
	冠幅 Crown width/m	0.78	0.58~0.92	9.78	1.75**	15.20**	1.93**	0.052
	树干通直度 Trunk straightness	3.60	3.25~4.33	4.83	1.03	15.14**	1.89**	0.499
	分叉干数 Branch trunk number	1.83	1.26~2.24	12.70	0.86	5.63**	1.70**	1.108
	一级侧枝数 Branch number	20.26	14.07~27.37	16.91	1.19	17.17	3.75**	74.994
	最长侧枝长度 Longest branch length/m	0.59	0.42~0.74	10.48	1.83**	12.87**	1.64**	0.042
最粗侧枝基径 Widest branch diameter/cm	0.73	0.26~0.90	11.24	1.05	11.57**	2.50**	0.067	
江西安远 Anyuan of Jiangxi	树高 Tree height/m	2.13	1.56~2.56	9.79	3.27**	6.82**	2.82**	0.190
	地径 Ground diameter/cm	3.19	2.36~3.77	9.76	3.54**	5.56**	2.71**	0.405
	冠幅 Crown width/m	0.93	0.70~1.08	9.91	2.26**	25.27**	3.08**	0.051
	树干通直度 Trunk straightness	4.96	4.82~5.00	0.80	0.68	3.30*	3.07**	0.034
	分叉干数 Branch trunk number	0.30	0.02~0.56	37.38	0.99	16.36**	2.04**	0.278
	一级侧枝数 Branch number	17.45	10.22~21.39	11.00	2.21**	43.29**	2.95**	24.949
	最长侧枝长度 Longest branch length/m	0.76	0.50~0.96	11.88	2.38**	9.76**	2.73**	0.049
最粗侧枝基径 Widest branch diameter/cm	0.99	0.74~1.12	9.02	2.34**	1.83	2.52**	0.056	

注：浙江建德点、江西分宜点和江西安远点的区组、家系、区组 × 家系和机误的自由度分别为4、41、209和2 049，4、41、209和1 669，4、41、209和2 039。\*为0.05显著水平，\*\*为0.01极显著水平，下同。

Notes: The degrees of freedom of duplicate, family, duplicate × family and machine error were 4, 41, 209 and 2 049, 4, 41, 209 and 1 669, 4, 41, 209 and 2 039 for Jiande in Zhejiang province, Fenyi and Anyuan in Jiangxi province, respectively. \* is 0.05 significant level, \*\* is 0.01 extremely significant level, the same as below.

### 2.3 赤皮青冈家系生长和形质性状的表型和遗传相关

3个试验点赤皮青冈家系生长和形质性状间遗传相关系数总体上大于表型相关系数(表3)，不同家系树高、地径和冠幅等生长性状皆呈极显著的表型和遗传正相关( $r = 0.534 \sim 0.885$ )；一级侧枝数量、最长侧枝长度和最粗侧枝基径等形质性状之间，以建德点表型和遗传相关系数最高，分宜点和安远点略低；树干通直度与分叉干数除浙江建德点遗传相关系数为0.086外，其余表型和遗传均为

负相关，其中，江西安远点遗传负相关极显著( $P < 0.01$ )，意味着赤皮青冈家系幼树越通直，分叉相应越少。3个试验点家系树高、地径和冠幅等生长性状与一级侧枝数量、最长侧枝长度和最粗侧枝基径等形质性状均呈显著或极显著表型和遗传正相关( $r = 0.313 \sim 0.967$ )，意味着赤皮青冈优树家系树高和地径生长量越大，分枝越多、长且粗；通直度和分叉干数与其它性状的表型和遗传相关性相对较低。总的来看，不同试验点家系树高、地径和冠幅等生长指标与侧枝数量、长度及枝粗之

表 2 赤皮青冈家系生长和形质性状的遗传参数估计

Table 2 Estimation of heritability of growth and form-quality traits of *C. gilva* families

性状 Traits	家系遗传力 Family heritability				单株遗传力 Individual heritability			
	浙江建德 Jiande of Zhejiang	江西分宜 Fenyi of Jiangxi	江西安远 Anyuan of Jiangxi	联合 Combination	浙江建德 Jiande of Zhejiang	江西分宜 Fenyi of Jiangxi	江西安远 Anyuan of Jiangxi	联合 Combination
树高 Tree height	0.611	0.500	0.729	0.585	0.244	0.169	0.479	0.224
地径 Ground diameter	0.393	0.518	0.753	0.471	0.101	0.164	0.519	0.123
冠幅 Crown width	0.589	0.470	0.598	0.510	0.235	0.161	0.296	0.166
树干通直度 Trunk straightness	0.429	0.033	0.272	0.016	0.098	0.006	0.075	0.002
分叉干数 Branch trunk number	0.485	0.034	0.024	0.255	0.091	0.006	0.004	0.038
一级侧枝数 Branch number	0.547	0.191	0.579	0.230	0.233	0.072	0.267	0.066
最长侧枝长度 Longest branch length	0.624	0.476	0.618	0.541	0.254	0.142	0.294	0.172
最粗侧枝基径 Widest branch diameter	0.451	0.111	0.605	0.423	0.106	0.029	0.263	0.089

间联系密切, 不易联合进行选择。

#### 2.4 赤皮青冈生长和形质性状的 B 型相关

B 型遗传相关用于定量分析基因型与环境互作 ( $G \times E$ ), 其值接近 1 时, 表明基因型在不同环境中的表现几乎一致,  $G \times E$  效应甚微; 其值小于 0.7 时, 表明存在显著的  $G \times E$  效应<sup>[9]</sup>。赤皮青冈家系生长和形质性状除建德-分宜树高的 B 型相关系数  $> 0.7$ , 其基因与环境互作 ( $G \times E$ ) 效应不明显之外, 其余均  $< 0.7$ , 表明存在显著的  $G \times E$  效应, 立地条件对各家系生长和形质性状影响较大 (表 4)。树高和冠幅等指标的 B 型相关系数相对较高, 与其家系遗传力较高和性状稳定有关。

#### 2.5 赤皮青冈优良家系初选

根据 3 个试验点赤皮青冈不同家系生长和形质性状前 3 个成分的方差累积贡献率 (建德 85.16%、分宜 83.17%、安远 86.68%) 计算综合得分, 得分最高的家系排名第 1; 以不同家系 3 个试验点排名的总得分按从低到高排序为横坐标 (排名总得分越低意味着家系综合表现越好), 以不同试验点排名值为纵坐标, 得到不同家系在 3 个试验点的排序图 (图 1)。总的来看, HNCB8 和 HNHT5 在 3 个试验点的排序均靠前; HNCB7、HNCB6 和 HNSZ1 在浙江建德和江西安远排序接近, 在江西分宜排序相对靠后; HNHT4 在江西分宜和安远排序接近, 在浙江建德排序相对靠后。来自福建建瓯的家系 (FJJO1、FJJO11 等) 在江西分宜的排序总体高于江西安远点和浙江建德点。HNCB4 在 3 个试验点排序接近, 表现较稳定。FJJO7、

HNYS1、JXSR5 和 JXSR3 等排名靠后家系地点间的排序变动相应也较小。

3 个试验点根据 BLUP 方法得到的家系树高和地径 BLUP 值与其实际值呈良好的线性相关 ( $r > 0.9$ ), 说明 BLUP 值能够反映观测值。采用独立淘汰法对被试家系树高和地径 BLUP 值进行排序, 选取排名前 20% 的家系 (图 2)。按照该标准, 浙江建德点共选取 HNCB1、HNCB2、HNCB7、HNCB8 和 HNSZ1 等 5 个家系, 其平均树高和地径分别为 2.65 m 和 4.23 cm, 与家系平均值相比分别增加了 11.49% 和 11.14%; 江西安远点共选取 AN1、HNHT2、HNHT4、HNCB6、HNCB8 和 HNSZ1 等 6 个家系, 其平均树高和地径分别为 2.37 m 和 3.57 cm, 与家系平均值相比分别增加了 11.28% 和 11.93%; 江西分宜点共选取 HNCB8 和 HNYS3 等 2 个家系, 其平均树高和地径分别为 1.79 m 和 2.86 cm, 与家系平均值相比分别增加了 11.20% 和 17.36%。3 个试验点共初选出 10 个优良家系, 其中, HNCB8 为 3 个试验点均入选家系。

### 3 讨论

本研究通过对浙江建德、江西分宜和安远 3 个试验点 3 年生赤皮青冈家系测定林进行生长和形质性状研究, 发现各地点的生长和形质性状在家系间均存在极显著的差异, 意味着优良家系的再选择具备丰富的家系变异基础。3 个试验点形质性状的变异系数相对较大, 这对优良家系的评价和选择有

表3 赤皮青冈家系生长和形质性状间的表型和遗传相关系数  
Table 3 Genetic and phenotypic correlation coefficients between growth and form-quality traits of *C. gilva* families

试验点 Test site	性状 Traits	树高 Tree height	地径 Ground diameter	冠幅 Crown width	树干通直度 Trunk straightness	分叉干数 Branch trunk number	一级侧枝数量 Branch number	最长侧枝长度 Longest branch length	最粗侧枝基径 Widest branch diameter
浙江 建德 Jiande of Zhejiang	树高 Tree height		0.715**	0.619**	0.242	0.011	0.573**	0.644**	0.477**
	地径 Ground diameter	0.764**		0.698**	0.125	0.074	0.613**	0.646**	0.646**
	冠幅 Crown width	0.683**	0.683**		0.066	0.147	0.404**	0.686**	0.594**
	树干通直度 Trunk straightness	0.456**	0.164	0.144		-0.278	0.171	0.079	0.002
	分叉干数 Branch trunk number	0.008	0.050	0.135	0.086		-0.050	0.032	-0.006
	一级侧枝数 Branch number	0.524**	0.900**	0.562**	0.012	-0.072		0.373*	0.355*
	最长侧枝长度 Longest branch length	0.924**	0.723**	0.803**	0.410**	0.326*	0.556**		0.707**
	最粗侧枝基径 Widest branch diameter	0.867**	0.916**	0.865**	0.202	0.266	0.770**	0.900**	
江西 分宜 Fenyi of Jiangxi	树高 Tree height		0.765**	0.758**	0.452**	0.085	0.482**	0.750**	0.470**
	地径 Ground diameter	0.534**		0.798**	0.302	0.247	0.468**	0.748**	0.558**
	冠幅 Crown width	0.733**	0.825**		0.269	0.205	0.383*	0.818**	0.592**
	树干通直度 Trunk straightness	0.450**	0.171	0.242		-0.240	0.293	0.266	0.109
	分叉干数 Branch trunk number	-0.207	0.320*	0.245	-0.153		-0.060	0.186	0.147
	一级侧枝数 Branch number	0.388*	0.573**	0.410**	-0.163	-0.182		0.363*	0.179
	最长侧枝长度 Longest branch length	0.875**	0.678**	0.883**	0.558**	-0.132	0.291		0.597**
	最粗侧枝基径 Widest branch diameter	0.397**	0.313*	0.478**	0.063	0.176	0.308*	0.412**	
江西 安远 Anyuan of Jiangxi	树高 Tree height		0.636**	0.551**	0.091	0.128	0.383*	0.633**	0.406**
	地径 Ground diameter	0.885**		0.581**	0.084	0.105	0.466**	0.566**	0.596**
	冠幅 Crown width	0.763**	0.671**		0.056	0.140	0.353*	0.588**	0.442**
	树干通直度 Trunk straightness	0.281	0.167	0.311*		-0.111	0.092	0.032	0.004
	分叉干数 Branch trunk number	0.200	0.376*	0.286	-0.620**		-0.153	0.178	0.041
	一级侧枝数 Branch number	0.808**	0.693**	0.670**	0.202	0.117		0.207	0.256
	最长侧枝长度 Longest branch length	0.924**	0.841**	0.876**	0.235	0.200	0.688**		0.511**
	最粗侧枝基径 Widest branch diameter	0.884**	0.967**	0.740**	0.033	0.293	0.678**	0.905**	

注：对角线以上为表型相关系数，对角线以下为遗传相关系数。

Notes: Above the diagonal is the phenotypic correlation coefficient, below the diagonal is the genetic correlation coefficient.

表 4 赤皮青冈家系生长和形质性状的 B 型相关

Table 4 Type B correlation coefficients between growth and form-quality traits of *C. gilva* families

性状 Traits	浙江建德-江西分宜 Jiande of Zhejiang- Fenyi of Jiangxi	浙江建德-江西安远 Jiande of Zhejiang- Anyuan of Jiangxi	江西分宜-江西安远 Fenyi of Jiangxi- Anyuan of Jiangxi
树高 Tree height	0.798	0.469	0.652
地径 Ground diameter	0.688	0.358	0.247
冠幅 Crown width	0.563	0.459	0.652
树干通直度 Trunk straightness	0.263	0.219	0.436
分叉干数 Branch trunk number	0.612	0.425	0.516
一级侧枝数量 Branch number	0.341	0.217	0.209
最长侧枝长度 Longest branch length	0.497	0.470	0.704
最粗侧枝基径 Widest branch diameter	0.317	0.454	0.314

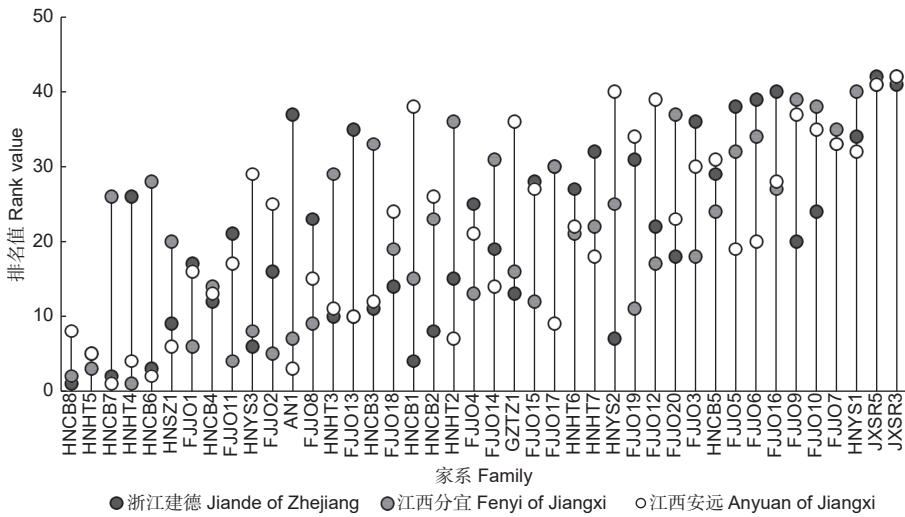


图 1 赤皮青冈不同家系生长和形质性状综合得分排序

Fig. 1 Ranking of comprehensive scores of growth and form-quality traits of different *C. gilva* families

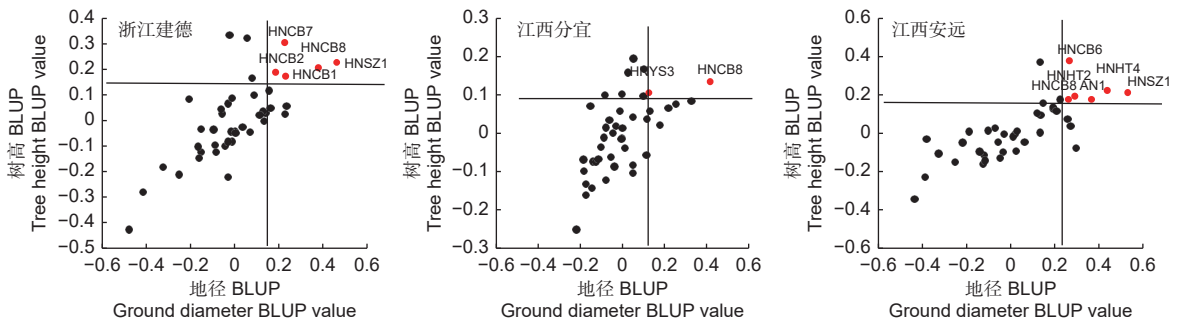


图 2 基于树高和地径 BLUP 值的赤皮青冈优良家系选择

Fig. 2 Selection of excellent families based on BLUP values of height and ground diameter of *C. gilva*

利<sup>[18]</sup>。浙江建德点赤皮青冈家系的总体生长表现要明显优于江西分宜点和安远点,其原因与浙江建德点采用深翻整地造林,并且造林后及时抚育和施肥有关,幼林精细化培育显著促进了优树家系树高生

长、冠幅伸展和地径增大。

遗传力可反映不同家系根据表型优劣选择基因型的可靠程度,通过家系和单株遗传力估算可以确定育种选择的方式和强度,这对于育种策略的制定



具有重要的实践意义<sup>[19-20]</sup>。受年龄、林分和环境等因素影响,不同树种生长和形质性状遗传力存在一定差异<sup>[21-23]</sup>。本研究利用3个试验点的数据估算遗传力,发现赤皮青冈树高、地径、冠幅、最长侧枝长度和最粗侧枝基径等性状具有较高的家系遗传力,受中度偏强的遗传控制,表明赤皮青冈家系的生长和形质性状采用适度的选择强度即可取得有效的改良效果,这与徐肇友等<sup>[24]</sup>研究结果一致。此外,家系遗传力高于单株遗传力,表明通过家系选择可获得较大遗传增益,单株选择效果不如家系选择,但若将家系选择和单株选择相结合,则可能取得更好改良效果<sup>[25]</sup>。此前对青海云杉(*Picea crassifolia* Kom)、加拿大短叶松(*Pinus banksiana* Lambert)、湿地松(*P. elliotii* Engelm)和红松(*P. koraiensis* Siebold et Zuccarini)的研究结果都支持这一观点<sup>[25-28]</sup>。江西安远点的家系和单株遗传力总体上高于浙江建德点和江西分宜点,这应与江西安远点重复间和重复内立地环境相对一致而显著降低了试验的环境效应有关<sup>[29]</sup>。

通过性状间的相关性分析,可在选择某个性状的同时间接地知道其它相关性状的结果<sup>[16]</sup>,这有助于优良家系的选择。3个试验点赤皮青冈家系树高、地径和冠幅三者之间,及与一级侧枝数量、最长侧枝长度和最粗侧枝基径等形质性状之间均呈显著的表型和遗传正相关,可见树高和地径表现优异的家系,冠幅较大,分枝多、枝长且粗,与罗芊芊等<sup>[16]</sup>对南方红豆杉的研究结论一致。不同之处在于,辛娜娜等<sup>[3]</sup>对5年生木荷、罗芊芊等<sup>[16]</sup>对5年生南方红豆杉的研究表明,木荷家系最大分枝角与最大分枝粗不相关或弱相关,南方红豆杉优树家系最大分枝角与最大分枝粗及一级分枝数等分枝性状弱相关,说明上述性状遗传上较为相互独立,这对选择易自然整枝的木荷和南方红豆杉家系(分枝细、分枝角大)有利。本研究3个试验点赤皮青冈一级侧枝数量、最长侧枝长度和最粗侧枝基径等形质性状之间的表型和遗传相关系数总体较高,各形质性状联系紧密,较难进行独立选择。B型相关分析表明,赤皮青冈优树家系×地点互作效应显著,立地条件对其影响较大,这与不同家系在3个试验点的生长和形质指标综合排序变化较大情况一致。因此,在赤皮青冈优良家系推广种植前,最好在所有潜在种植区域进行遗传测定,以明确各家系

在每一环境中的相对表现<sup>[17]</sup>。

基于主成分分析综合得分进行优良家系初选,HNCB8和HNHT5在3个试验点表现均较好。基于树高和地径BLUP值排名前20%进行选择,3个试验点共有优势家系为HNCB8。HNCB8无论是从生长和形质指标综合看,还是从树高和地径2个指标单独看,都表现优秀;HNHT5仅从树高和地径2个指标看,表现并不突出,但其生长和形质指标综合表现较好。在不同地点推广优选赤皮青冈家系时,可优先选用HNCB8和HNHT5家系。对于生长良好而稳定性不高的家系(如HNCB7和HNCB6),建议在立地条件较好区域造林。赤皮青冈生长寿命长达数百年,本研究赤皮青冈遗传测定林为3年生幼林,仅是对其生长和形质性状的初步分析和选择,目的是为其优良家系的选择和应用提供一定参考。

## 4 结论

3年生赤皮青冈生长和形质性状家系间差异显著,具有丰富的遗传变异。3个试验点赤皮青冈家系遗传力差异较大,树高、地径、冠幅和最长侧枝长度等家系遗传力估算值较高。不同家系各性状间相关性较高,树高和地径表现优异的家系,林木较通直,分叉干少但分枝多、枝长且粗,不易联合进行选择。HNCB8和HNHT5等家系生长和形质指标综合表现优秀,在3个试验点生长表现均较好,具有推广潜力。基于树高和地径BLUP值进行优良家系选择,3个试验点共初选出10个优良家系,其中,HNCB8为3个试验点均入选家系。

## 参考文献:

- [1] ZHANG W, LU B Y, MENG H L, et al. Phenotypic diversity analysis of the fruit of *Amomum tsao-ko* Crevost et Lemarie, an important medicinal plant in Yunnan, China[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2019, 66(5): 1145-1154.
- [2] 苑海静, 成向荣, 虞木奎, 等. 麻栎优树自由授粉家系生长性状3地点间动态变异及优良家系选择[J]. 林业科学研究, 2022, 35(2): 9-18.
- [3] 辛娜娜, 张蕊, 范辉华, 等. 5年生木荷生长和形质性状的家系变异和选择[J]. 林业科学研究, 2014, 27(3): 316-322.
- [4] 李荣丽, 黄寿先, 李志先, 等. 大叶栎家系水平性状变异及优良家系选择研究[J]. 广东农业科学, 2014, 41(17): 47-50, 57.
- [5] 张谦, 曾令海, 蔡燕灵, 等. 樟树自由授粉家系生长与形质性状的遗传分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(1): 1-6.



- [6] 肖 遥. 南方红豆杉种源和家系生长遗传变异[D]. 南京: 南京林业大学, 2016.
- [7] 周志春. 生态好树种-赤皮青冈[J]. 浙江林业, 2019 (12): 20-21.
- [8] CANNELL M G R. Production of branches and foliage by young trees of *Pinus contorta* and *Picea sitchensis*: provenance differences and their simulation[J]. Journal of Applied Ecology, 1974, 11(3): 1091-1115.
- [9] 谢 健. 赤皮青冈种群生态学研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.
- [10] 李金华, 李志辉, 王佩兰, 等. 湖南靖州特色种群赤皮青冈群落的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34 (5): 56-58, 65.
- [11] 朱品红. 赤皮青冈居群遗传多样性与遗传结构分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
- [12] 吴丽君. 赤皮青冈幼苗对干旱胁迫的响应与适应[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.
- [13] 吴小林, 张东北, 楚秀丽, 等. 赤皮青冈容器苗不同基质配比和缓释肥施用量的生长效应[J]. 林业科学研究, 2014, 27 (6): 794-800.
- [14] 周 燕, 黄盛怡, 杨孟晴, 等. 赤皮青冈不同家系苗期生长和叶片性状遗传变异[J]. 西部林业科学, 2022, 51 (5): 75-80.
- [15] 谢 健. 不同种源赤皮青冈幼林生长性状变异及种源选择[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2021, 50 (5): 636-640.
- [16] 罗芊芊, 楚秀丽, 李峰卿, 等. 5年生南方红豆杉生长和分枝性状家系变异与选择[J]. 林业科学研究, 2020, 33 (1): 136-143.
- [17] T. L. 怀特, W. T. 亚当斯, D. B. 尼尔. 森林遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [18] BOGDAN S, KATIČIĆ-TRUPČEVIĆ I, KAJBA D. Genetic variation in growth traits in a *Quercus robur* L. open-pollinated progeny test of the Slavonian provenance[J]. Silvae Genetica., 2004, 53(1-6): 198-201.
- [19] MONTES C S, HERNÁNDEZ R E, BEAULIEU J, et al. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon[J]. New Forests, 2008, 35(1): 57-73.
- [20] BALTUNIS B S, GAPARE W J, WU H X. Genetic parameters and genotype by environment interaction in radiata pine for growth and wood quality traits in Australia[J]. Silvae Genet, 2010, 59(1/6): 113-124.
- [21] 王云鹏, 张 蕊, 周志春, 等. 10年生木荷生长和材性性状家系变异及选择[J]. 南京林业大学学报, 2020, 44 (5): 85-92.
- [22] 肖德卿, 邓章文, 罗芊芊, 等. 幼龄红豆树生长和形质性状家系变异分析[J]. 林业科学研究, 2021, 34 (3): 152-157.
- [23] 洪 舟, 杨曾奖, 张宁南, 等. 降香黄檀生长和材性性状种源差异及早期选择[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44 (1): 11-17.
- [24] 徐肇友, 楚秀丽, 肖纪军, 等. 3种青冈及其优树家系早期生长变异与选择[J]. 浙江林业科技, 2017, 37 (4): 6-11.
- [25] 欧阳芳群, 祁生秀, 蔡启山, 等. 青海云杉自由授粉家系遗传评价与选择[J]. 林业科学研究, 2018, 31 (6): 26-32.
- [26] WENG Y H, FORD R, TONG Z K, et al. Genetic parameters for bole straightness and branch angle in jack pine estimated using linear and generalized linear mixed models[J]. Forest Science, 2017, 63(1): 111-117.
- [27] 赵奋成, 郭文冰, 林昌明, 等. 湿地松自由授粉家系松脂产量性状和生长性状的遗传变异分析[J]. 华南农业大学学报, 2020, 41 (4): 90-94.
- [28] 贾庆彬, 刘 庚, 赵佳丽, 等. 红松半同胞家系生长性状变异分析与优良家系选择[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46 (4): 109-116.
- [29] 王明庥. 森林遗传管理的现代基础理论与技术-林木遗传育种学[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2001, 25 (5): 1-5.

# Variation and Selection of Growth and Form-quality Traits of 3-year-old *Cyclobalanopsis gilva*

YANG Meng-qing<sup>1</sup>, SHAO Wei-zhong<sup>2</sup>, XU Yong-hong<sup>2</sup>, YAO Jia-bao<sup>3</sup>, OUYANG Tian-lin<sup>4</sup>,  
DAI Li-hua<sup>4</sup>, ZHOU Zhi-chun<sup>1</sup>, WANG Bin<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Zhejiang Provincial Key Laboratory of Tree Breeding, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Forestry General Farm of Jiande, Zhejiang Province, Jiande 311600, Zhejiang, China; 3. Experimental Center of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China; 4. Jiangxi Experimental Center of Forestry Science and Technology, Xinfeng 341600, Jiangxi, China)

**Abstract:** [Objective] To reveal the genetic variation rule of the growth and form-quality traits of the 3-year-old elite families of *Cyclobalanopsis gilva* in different locations, and select the fast-growing and high-quality families with genetic stability for different regions and sites. [Methods] Based on the genetic assay forest constructed in Jiande of Zhejiang Province, Fenyi and Anyuan of Jiangxi Province with 1-year-old container seedlings of 42 elite families plantations of *C. gilva* in 2019, a whole forest survey was conducted and the differences of traits, heritability and genetic correlation, as well as the interactions between families and locations were analyzed using SAS software, and a batch of fast-growing and high-quality families were selected based on principal component analysis and BLUP methods. [Results] The average tree height and ground diameter of 3-year-old *C. gilva* were 2.04 m and 3.15 cm, respectively. The estimated family heritability of tree height, ground diameter, crown width and longest branch length were high (0.393-0.753). Compared with family heritability, individual heritability estimates was relatively low. The correlation between traits of different families was high, and the families with excellent tree height and ground diameter performance had straighter form, fewer branching trunks but more branches, longer and thicker branches than the families with low tree height and small ground diameter. The interaction effect of family × site was obvious, and the site had a great influence on the growth. The best growth performance was found in Jiande site, followed by Anyuan and Fen Yi. Based on the comprehensive ranking of growth and form-quality traits, HNCB8 and HNHT5 ranked first in the three test sites, showing a good overall performance. The top 20% BLUP values of tree height and ground diameter were selected, and a total of 10 excellent families were selected from the three test sites. HNCB8 was selected as a common family. [Conclusion] There are rich genetic differences in growth and form-quality traits among the 3-year-old *C. gilva*, and the family heritability is generally high, which is subject to strong genetic control. The change of planting habitat has a great influence on the family of *C. gilva*, and the comprehensive performance of HNCB8 and HNHT5 is better, which has the potential for promotion.

**Keywords:** *Cyclobalanopsis gilva*; family; growth traits; form-quality traits; genetic variation; selection

(责任编辑: 张 研)